

NOTE TECHNIQUE

EVOLUTION DES SULFATES A MARSEILLE

SUITE AU CHANGEMENT DE TENEUR EN SOUFRE DES CARBURANTS MARINS AU 1ER JANVIER 2020 A L'ECHELLE MONDIALE

13/01/2023

SOMMAIRE

I.	Résumé	2
II.	Contexte.....	2
II.1	Baisse du taux de soufre dans les carburants des navires.....	2
II.2	Mesures de composés soufrés sur Marseille Longchamp.....	2
III.	Analyse des données à Marseille Longchamp.....	3
III.1	Evolution des concentrations en sulfate (SO_4^{2-} sous forme particulaire)	3
III.2	Méthode 1 : moyenne simple sur les périodes avant/après réglementation	4
III.3	Méthode 2 : reconstitution de profils saisonniers avant/après réglementation.....	4
IV.	Conclusion.....	5

I. RESUME

Quel impact de la baisse de soufre du carburant des navires sur la qualité de l'air ?

Pour suivre la quantité de soufre dans l'atmosphère AtmoSud mesure le dioxyde de soufre (SO_2) qui est un gaz, mais aussi les sulfates (SO_4^{2-}), qui existent sous forme de particules ou de liquide présents dans l'air.

Les niveaux de dioxyde de soufre ont fortement baissé ces 15 dernières années (avec notamment en 2005 l'adoption de carburants désoufrés pour les automobiles) et les concentrations de SO_2 observées actuellement ne permettent pas de voir l'impact du changement de carburant des navires.

En revanche les mesures de sulfate ont permis à AtmoSud d'observer, entre 2017 et 2022, **un abattement de 35 à 36%** des concentrations sur le site de Marseille Longchamp depuis la mise en œuvre de la nouvelle réglementation. Et cette baisse a permis une diminution de 44% des particules fines $\text{PM}_{2.5}$ sur ce même site, ce qui est très significatif. Ces résultats concernent la baisse du taux de soufre de 3.5% à 0.5% mise en place en 2020, la décision de l'OMI de réduire le taux de soufre à 0.1 % au 1^{er} mai 2025¹ devrait encore améliorer la situation.

II. CONTEXTE

II.1 Baisse du taux de soufre dans les carburants des navires

Depuis le 1er janvier 2020, la réglementation de l'Organisation Maritime Internationale (OMI) impose un taux de soufre maximum dans les carburants marins de 0.5% (contre 3.5% auparavant). L'objectif est de réduire les émissions d'oxydes de soufre par le transport maritime.

II.2 Mesures de composés soufrés sur Marseille Longchamp

L'origine du soufre dans l'atmosphère est diverse. En région Sud l'activité industrielle constitue la première source d'émission d'oxydes de soufre (SO_x), avec 88% du total régional en 2020². Dans l'atmosphère les combustions produisent majoritairement du dioxyde de soufre (SO_2) gazeux qui s'oxyde lentement en sulfate (SO_4^{2-}), sous forme particulaire ou liquide selon les conditions du milieu (principalement sous forme de sulfate d'ammonium $\text{SO}_4(\text{NH}_3)_2$ ou d'acide sulfurique H_2SO_4).

Depuis de nombreuses années, AtmoSud a équipé son site de Marseille Longchamp³ de plusieurs appareils de mesures qui permettent de suivre l'évolution des concentrations des composés soufrés dans une situation de fond, loin des sources d'émissions de ce polluant :

- Dioxyde de soufre (SO_2) – gazeux - depuis janvier 2005
- Sulfate (SO_4^{2-}) – particulaire ou liquide - depuis janvier 2017
- Soufre élémentaire S dans les PM_{10} – particulaire - depuis janvier 2020

Les concentrations de SO_2 observées actuellement sont faibles, trop proches de la limite de précision de l'analyseur pour permettre de distinguer l'influence du changement de carburant. Les mesures de soufre élémentaire n'ont démarré qu'après le changement de réglementation. En revanche, les mesures de sulfates présents dans les particules permettent d'étudier un éventuel impact de cette nouvelle réglementation sur la qualité de l'air.

Les sulfates sont généralement associés à des ions ammonium dans l'air ambiant. Le sulfate d'ammonium représente 1.375 fois la masse du sulfate seul.

¹ <https://www.ineris.fr/fr/ineris/actualites/ecamed-conclusions-etude-faisabilite-technique-mise-oeuvre-zone-reduction>

² AtmoSud - Inventaire des émissions et consommations d'énergie v9.1

³ L'ensemble de ces mesures sont mises à disposition en temps réel sur le site internet d'AtmoSud : <https://www.atmosud.org>

III. ANALYSE DES DONNEES A MARSEILLE LONGCHAMP

III.1 Evolution des concentrations en sulfate (SO_4^{2-} sous forme particulaire)

Les sulfates sont mesurés par un analyseur ACSM (Spectromètre de masse qui analyse la fraction organique des particules en ligne). Le fonctionnement de cet analyseur de laboratoire est soumis à des contraintes importantes. En conséquence, le taux de disponibilité des données horaires varie selon les années, comme présenté dans le tableau ci-dessous :

Année	2017	2018	2019	2020	2021	2022*
Taux de disponibilité	73	74	26	81	51	93

*Remarque : toutes les données 2022 utilisées dans ce document correspondent à une année partielle, jusqu'au 21/12/22.

Les concentrations de sulfate mesurées à Marseille Longchamp ont une saisonnalité marquée, avec des niveaux plus importants en été [Figure 1].

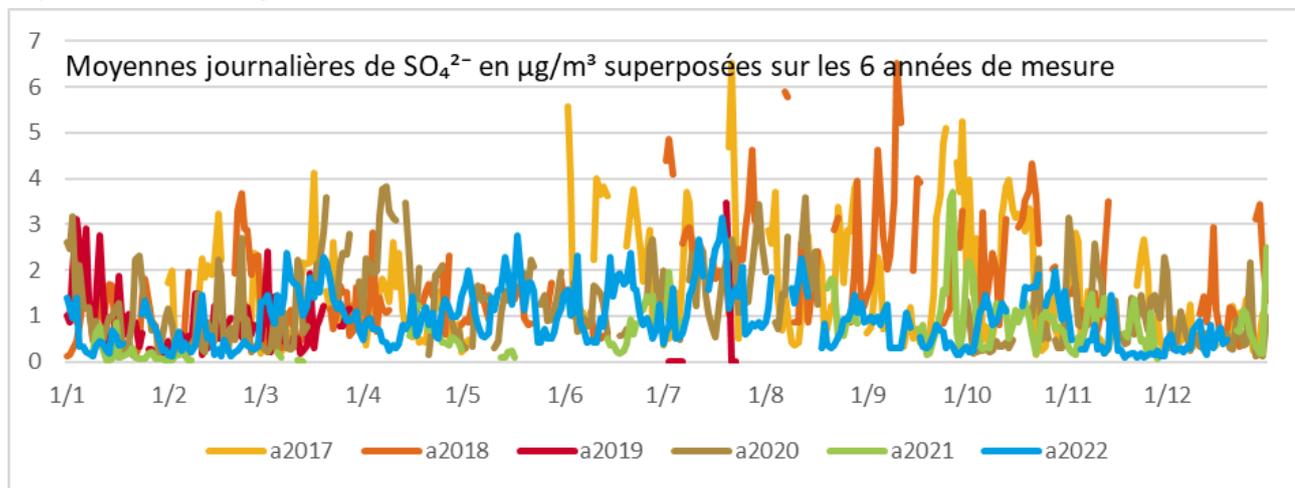


Figure 1 : Moyennes journalières en sulfate (SO_4^{2-}) exprimées en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ de 2017 à 2022.

Comme indiqué précédemment, le sulfate est principalement lié à l'ammonium sous la forme $\text{SO}_4(\text{NH}_3)_2$. La part des sulfates d'ammonium dans les particules fines observées à Marseille est importante et représente **jusqu'à 70 % de la masse totale des PM2.5 observée** [Figure 2].

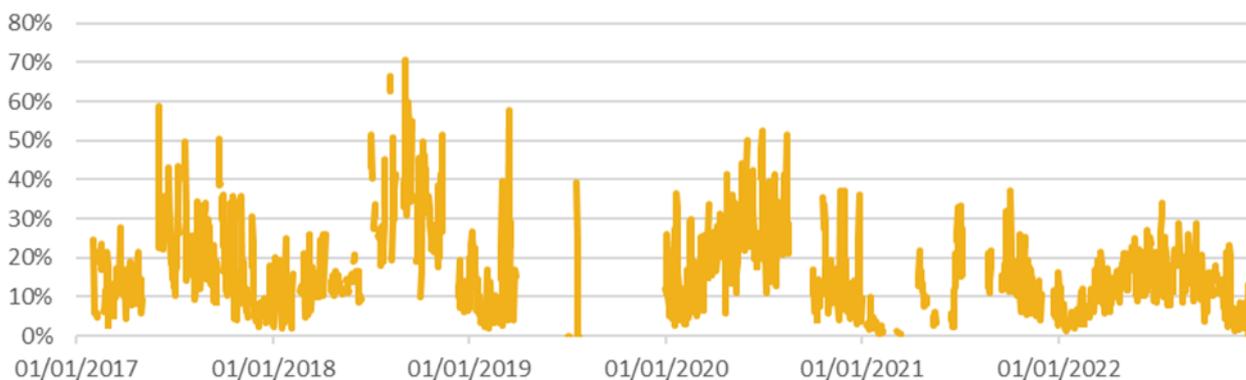


Figure 2 : contribution du sulfate d'ammonium ($\text{SO}_4(\text{NH}_3)_2$) à la concentration en particules fines PM2.5, exprimée en %, de 2017 à 2022

Pour étudier l'évolution des concentrations en sulfate avant et après la nouvelle réglementation entrée en vigueur le 1^{er} janvier 2020 (passage à 0.5 % de soufre dans les carburants marins), deux méthodes ont été utilisées.

III.2 Méthode 1 : moyenne simple sur les périodes avant/après réglementation

- Moyenne 2017-2019 : 1.51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (taux de disponibilité 57%)
- Moyenne 2020-2022 : 0.97 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (taux de disponibilité 75%)

Le rapport des moyennes des deux périodes est de 0.64, indiquant un **abattement de 36%, correspondant à une baisse de 0.54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des sulfates** depuis la mise en place de la nouvelle réglementation, soit une baisse estimée de 0.74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des sulfates d'ammonium.

III.3 Méthode 2 : reconstitution de profils saisonniers avant/après réglementation

L'utilisation sur plus de deux ans de données permet de limiter l'influence des interruptions de fonctionnement, mais ne permet pas de s'assurer d'une bonne prise en compte de la saisonnalité. La deuxième méthode vise à reconstituer un profil annuel moyen à partir des séries de trois années avant/après réglementation.

Pour chaque période Avant (2017-2019) et Après (2020-2022), on calcule une valeur quotidienne de la manière suivante pour chaque date [JJ/MM] :

- Moyenne de toutes les valeurs horaires de JJ-6/MM à JJ/MM de chaque année utilisée, si le nombre de données disponibles sur la plage considérée est au moins 25% du nombre d'heures total de la plage.
- Exemple pour le 07/01 avant réglementation : moyenne des valeurs horaires du 01/01/2017 au 07/01/2017, du 01/07/2018 au 07/01/2018 et du 01/01/2019 au 07/01/2019, soit 1.31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, calculée avec 317 données disponibles sur les 504 heures de la plage, soit 63% de données disponibles.

Les résultats de cette reconstitution donnent :

- Moyenne 2017-2019 : 1.55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (taux de disponibilité 91%)
- Moyenne 2020-2022 : 1.00 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (taux de disponibilité 94%)

Le rapport des moyennes des deux périodes reconstituées est de 0.65, indiquant un **abattement de 35%, correspondant à une baisse de 0.54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des sulfates** depuis la mise en place de la nouvelle réglementation, soit une baisse estimée de 0.74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des sulfates d'ammonium.

La reconstitution de ces profils saisonniers indique un abattement plus important durant les saisons estivales et automnales [Figure 3].

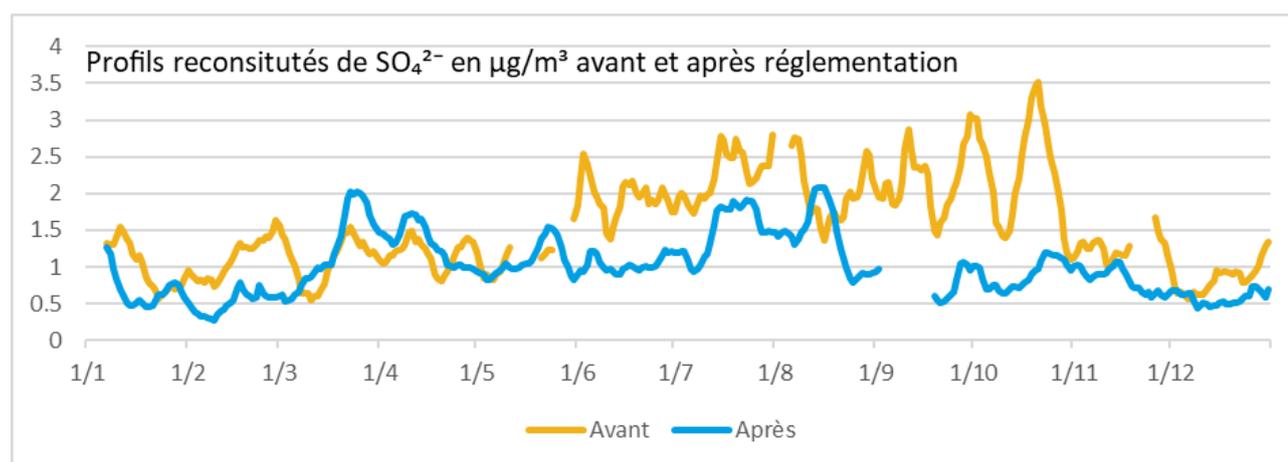


Figure 3 : reconstitution des profils journaliers en sulfate (SO_4^{2-}) exprimés en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ avant la nouvelle réglementation sur les carburants marins (2017-2019) et après (2020-2022)

IV. CONCLUSION

Les deux méthodes donnent des résultats similaires, et montrent un **abattement de 35 à 36%** des concentrations de sulfates sur le site de Marseille Longchamp depuis la mise en œuvre de la nouvelle réglementation de l'OMI. Cet abattement correspond à une **baisse de concentrations de 0.54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** environ. Les sulfates étant généralement associés à des ions ammonium dans l'air ambiant, la baisse de concentration de **sulfate d'ammonium peut être estimée à 0.74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** .

Sur la même période, les concentrations de PM2.5 observées à Marseille Longchamp, sont passées de 11.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ avant la réglementation à 9.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ après, soit une baisse de 1.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La baisse des sulfates d'ammonium est donc responsable de **44% de la baisse des PM2.5** sur ce site, ce qui est très significatif.

Rappelons que la baisse des émissions du taux de soufre a un impact pour tous les riverains de la Méditerranée, pas seulement à proximité des ports. La décision de l'OMI de réduire le taux de soufre à 0.1 % au 1^{er} mai 2025 devrait encore améliorer la situation (<https://www.ineris.fr/fr/ineris/actualites/ecamed-conclusions-etude-faisabilite-technique-mise-oeuvre-zone-reduction>).



www.atmosud.org

AtmoSud
Inspirer un air meilleur

A propos d'AtmoSud

Siège social

146 rue Paradis « Le Noilly Paradis »

13294 Marseille Cedex

Tel. 04 91 32 38 00

Fax 04 91 32 38 29

Contact.air@atmosud.org

Etablissement de Martigues

06 Route de la Vierge

13500 Martigues

Tel. 04 42 13 01 20

Fax 04 42 13 01 29

Etablissement de Nice

37 bis avenue Henri Matisse

06200 Nice

Tel. 04 93 18 88 00

SIRET : 324 465 632 00044 – APE – **NAF** : 7120B – **TVA intracommunautaire** : FR 65 324 465 632